


**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation<sup>6</sup> :</b> <b>H01H 59/00</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 99/62089</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 2. Dezember 1999 (02.12.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE99/01548 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 26. Mai 1999 (26.05.99)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 198 23 690.5 27. Mai 1998 (27.05.98) DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> SIEMENS ELECTROMECHANICAL COMPONENTS GMBH & CO. KG [DE/DE]; Gustav-Heinemann-Ring 212, D-81739 München (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> SCHLAAK, Helmut [DE/DE]; Schwabstedter Weg 30a, D-13503 Berlin (DE).  <b>(74) Gemeinsamer Vertreter:</b> SIEMENS ELECTROMECHANICAL COMPONENTS GMBH & CO. KG; Epping, Wilhelm, Postfach 22 13 17, D-80503 München (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> CA, CN, IN, JP, KR, SG, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>

**(54) Title:** MICRO-MECHANICAL ELECTROSTATIC RELAY

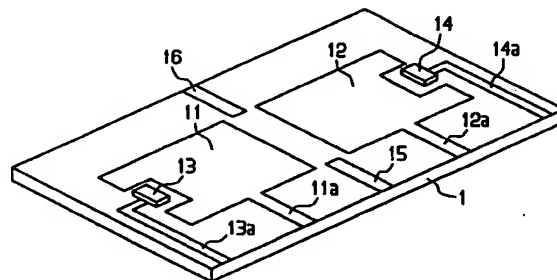
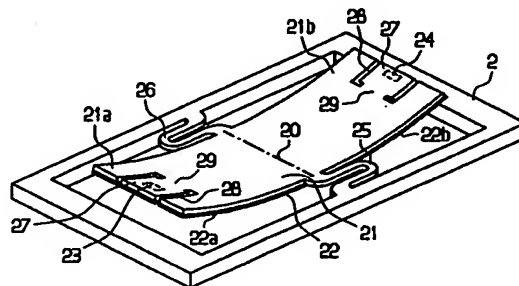
**(54) Bezeichnung:** MIKROMECHANISCHES ELEKTROSTATISCHES RELAIS

**(57) Abstract**

The inventive micro-mechanical electrostatic relay has a base substrate with a base electrode and at least two base contact pieces, and an armature substrate with an etched-out, rib-shaped armature. Said armature is suspended by flexible bands (25, 26) in the area of a central pivot axis (20), in such a way that it can pivot. The armature (21) forms an armature wing (21a, 21b) on each side of the swivel axis (20). The armature wings are each flexible in themselves and in their inoperative state, are bent away from the base substrate. Each of them forms a working air gap with the base substrate, said air gap being wedge-shaped and extending outwards in their inoperative state. When a voltage is applied between an armature electrode and a base electrode (11, 12) located underneath a particular armature wing (21a, 21b), the armature pivots about the pivot axis as the armature wing concerned (21a, 21b) unrolls on the base electrode and closes a corresponding contact.

**(57) Zusammenfassung**

Das mikromechanische elektrostatische Relais besitzt ein Basissubstrat mit Basiselektrode und mindestens zwei Basiskontaktstücken, außerdem ein Ankersubstrat mit einem freigeätzten, im Bereich einer mittleren Schwenkachse (20) über flexible Bänder (25, 26) schwenkbar aufgehängten rippenförmigen Anker. Der Anker (21) bildet beiderseits der Schwenkachse (20) jeweils einen in sich flexiblen, im Ruhezustand von dem Basissubstrat weg gekrümmten Ankerflügel (21a, 21b), von denen jeder mit dem Basissubstrat einen im Ruhezustand keilförmig sich nach außen erweiternden Arbeitsluftspalt bildet. Beim Anlegen einer Spannung zwischen einer Ankerelektrode und einer unter dem jeweiligen Ankerflügel (21a, 21b) angeordneten Basiselektrode (11, 12) wird der Anker um die Schwenkachse geschwenkt, während gleichzeitig der betreffende Ankerflügel (21a, 21b) auf der Basiselektrode abrollt und einen zugehörigen Kontakt schließt.



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidsschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

## Beschreibung

## Mikromechanisches elektrostatisches Relais

- 5 Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches elektrostatisches Relais mit
- einem flachen Basissubstrat, in dessen Oberflächenbereich zwei flächige Basiselektroden in Längsrichtung zueinander versetzt angeordnet sind,
  - 10 - einem Ankersubstrat mit einem wippenförmigen Anker, der im Bereich einer mittigen Schwenkachse an zwei gegenüberliegenden Seiten über flexible Bänder in dem Ankersubstrat aufgehängt ist und beiderseits der Schwenkachse jeweils einen blattförmigen Ankerflügel bildet, wobei jeder Ankerflügel je einen Anker-Elektrodenabschnitt trägt, der sei-
  - 15 nerseits je einer der beiden Basiselektroden gegenübersteht, und
  - wobei jeder Ankerflügel weiterhin mindestens einen beweglichen Kontakt trägt, der jeweils mit mindestens einem auf
  - 20 dem Basissubstrat angeordneten Festkontakt zusammenwirkt.

Ein derartiges mikromechanisch hergestelltes Relais mit Umschaltfunktion ist grundsätzlich bereits in der EP 0 520 407 A1 gezeigt. Dort ist der mittig aufgehängte Wippanker als

25 starre Platte ausgeführt. Er hat deshalb insgesamt einen relativ großen Abstand zwischen den Basiselektroden und der Ankerelektrode, wobei sich der jeweilige Ankerflügel auch in der jeweiligen Ansprech-Schaltstellung nur unter einem spitzen Winkel an die Gegenelektrode anlegt und diese im wesentlichen nur punktförmig bzw. linienförmig berühren kann. Dar-

30 aus ergibt sich, daß der elektrostatische Antrieb eine relativ hohe Anspruchsspannung erfordert und daß wegen des im Anspruchszustand nur unvollkommen geschlossenen Arbeitsluftspaltes auch keine allzu hohen Kontaktkräfte erzielt werden können.

35

Aus DE 42 05 029 C1, DE 44 37 261 C1 und DE 44 37 259 C1 sind allerdings auch bereits mikromechanische Relais bekannt, bei denen ein einseitig eingespannter Anker im Ruhezustand einen keilförmigen Luftspalt mit einer Basiselektrode bildet, so daß sich der dortige Anker beim Ansprechen eng an die Basiselektrode anlegt.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein mikromechanisches elektrostatisches Umschaltrelais mit dem eingangs genannten Aufbau zu schaffen, bei dem mit verhältnismäßig geringer Ansprechspannung hohe Kontaktkräfte erreicht werden, wobei verschiedene Betriebsarten eines Umschalters, wie neutrale, bistabile und monostabile Schaltcharakteristik, auf einfache Weise realisierbar sind.

Erfindungsgemäß wird dieses Ziel bei dem eingangs genannten Aufbau dadurch erreicht, daß die beiden Ankerflügel in sich biegsam ausgebildet und jeweils im Ruhezustand von dem Basissubstrat weg gekrümmt sind, wobei sie jeweils einen keilförmigen Luftspalt mit diesem bilden, dessen engste Stelle in der Nähe der Schwenkachse liegt und der sich zum freien Ende des Ankerflügels hin stetig erweitert.

Bei dem erfindungsgemäßen mikromechanischen Relais ist also der Anker nicht nur über die flexiblen Bänder schwenkbar aufgehängt, sondern er ist auch in sich selbst biegsam und in seiner Grundform mit beiden Flügeln von der jeweiligen Basiselektrode weg gekrümmt, so daß bereits im Ruhezustand jeder Ankerflügel mit der Basiselektrode einen keilförmigen Luftspalt bildet. Zur Bildung dieses keilförmigen Luftspaltes ist der Anker im Bereich der Schwenkachse mit nur geringem Abstand zur Ebene der Basiselektroden angeordnet, so daß beim Anlegen einer Spannung bereits zu Beginn der Ansprechphase ein Bereich des Ankers einen kleinen Elektrodenabstand aufweist; dadurch erreicht man ein schnelles Ansprechen des Ankers und einen Abrollvorgang, der sich von der engsten Stelle des keilförmigen Luftspaltes bis zum freien Ende des Ankers

hin (nach dem Wanderkeilprinzip) fortsetzt und dabei eine verhältnismäßig große Kontaktkraft aufbaut. Soweit in der inneren Spitze des keilförmigen Luftspaltes, also im Bereich der Schwenkachse des Ankers, fertigungsbedingt ein nennens-  
5 werter Abstand zwischen dem Anker und der Ebene der Basiselektroden besteht, kann dieser beim Ansprechen auf annähernd Null verringert werden, wenn die flexiblen Bänder der Ankeraufhängung nicht nur eine Torsion, sondern auch eine Durchbiegung senkrecht zur Oberfläche des Basissubstrats er-  
10 möglichen.

Durch die Krümmung des Ankers und durch die flexible Aufhängung ergibt sich beim Ansprechen des Relais sowohl eine Schwenkbewegung um die Schwenkachse als auch eine Abrollbewe-  
15 gung des schaltenden Ankerflügels, welcher aus seiner vorgekrümmten Form in eine gestreckte Form übergeht, so daß er zum Schluß der Ankerbewegung flach auf der geraden Elektrode des Basissubstrats aufliegt. Bei dieser Anzugsbewegung entfernt sich also aufgrund der Schwenkbewegung der spannungslose  
20 Ankerflügel zusätzlich vom Basissubstrat weg. Dies hat den weiteren Vorteil, daß nach dem Anziehen eines Ankerflügels der gegenüberliegende Ankerflügel nicht durch Anlegen der normalen Ansprechspannung ebenfalls angezogen werden kann, so daß auf diese Weise eine Sicherheitsfunktion gegeben ist. Ge-  
25 nerell ist die vorgegebene Krümmung des Ankers im Bereich der Schwenkachse am stärksten, und sie wird zum jeweiligen freien Ende der Ankerflügel hin geringer. Im Extremfall besitzt der Anker im Bereich der Schwenkachse annähernd einen scharfen Knick, so daß er ein annähernd V-förmiges Profil im Längs-  
30 schnitt aufweist.

In weiterer Ausgestaltung sind die Kontaktbereiche des Ankers mit den beweglichen Kontakten vorzugsweise so gestaltet, daß sie über im Querschnitt verminderte Verbindungsstege ela-  
35 stisch angebunden sind und zum Aufbau der Kontaktkraft elastisch aus der Ankerebene heraus bewegbar sind.

Die auf dem Anker befindlichen beweglichen Kontakte können als Einzelkontakte jeweils mit einer Zuleitung versehen sein oder als gemeinsamer Mittelkontakt eine gemeinsame Zuleitung besitzen; die Stromzuführungen werden dabei auf übliche Weise in Form von Leiterbahnen über eines oder beide flexiblen Bänder geführt. Daneben ist es aber auch möglich, die beweglichen Kontakte auf den beiden Ankerflügeln als Brückenkontakte auszuführen. In diesem Fall benötigen sie keine eigene Zuleitung, sondern sie überbrücken jeweils zwei feststehende Kontakte auf dem Basissubstrat.

In einer vorteilhaften Weiterbildung kann weiterhin vorgesehen werden, daß durch zusätzliche Elektretschichten auf den Basiselektroden oder auch auf den Ankerelektroden eine monostabile bzw. bistabile Schaltcharakteristik erzeugt wird.

Die Erfindung wird nachfolgend an Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt Figur 1 in perspektivischer, schematischer Darstellung die Anordnung eines Ankersubstrats mit einem erfindungsgemäß gestalteten Anker über einem Basissubstrat, Figur 2 ein ähnlich Figur 1 aufgebautes Relais in einer Schnittansicht, Figur 3 eine Draufsicht auf das Relais von Figur 2, Figur 4 eine gegenüber Figur 3 etwas abgewandelte Ausführungsform eines Relais in Draufsicht, Figur 5 eine Seitenansicht auf einen Anker gemäß Figur 2 in betätigtem Zustand, Figur 6 eine Ausführungsform gemäß Figur 2 mit zusätzlichen Elektretschichten, Figur 7a bis 7d die schematische Darstellung eines Schaltablaufs des Relais in vier Phasen und Figur 8 ein Zeitdiagramm für den Schaltablauf gemäß Figur 7a bis 7d.

35

Das in den Figuren 1 bis 3 schematisch in verschiedenen Ansichten gezeigte Relais besitzt ein Basissubstrat 1, vorzugs-

weise aus Silizium bestehend, auf welchem ein Ankersubstrat 2, ebenfalls vorzugsweise aus Silizium hergestellt, angeordnet und, beispielsweise durch anodisches Bonden, befestigt ist. Das Basissubstrat besitzt in seinem Oberflächenbereich  
5 zwei flächige, gegeneinander in Längsrichtung versetzt angeordnete Basiselektroden 11 und 12, die in üblicher Weise als metallische Schichten erzeugt sind. Sie besitzen Steuerleitungen 11a bzw. 12a, die in Figur 1 schematisch als Leiterbahnen angedeutet sind. Außerdem sind auf dem Basissubstrat  
10 im vorliegenden Beispiel zwei Festkontakte 13 und 14 angeordnet, die ebenfalls Zuleitungen 13a bzw. 14a in Form von Leiterbahnen besitzen. Die spezielle Konfiguration der einzelnen Leiterbahnen ist im Einzelfall je nach den Gegebenheiten zu wählen; außerdem sind gegebenenfalls notwendige Isolier-  
15 schichten nicht gezeigt. Dazu sind in Figur 1 weitere Leiterbahnen 15 und 16 angedeutet, welche beispielsweise als Zuleitungen zum beweglichen Anker fungieren.

Das Ankersubstrat 2, welches in Figur 1 lediglich schematisch  
20 als Rahmen und in den Figuren 2 und 3 ebenfalls stark vereinfacht dargestellt ist, besteht wie das Basissubstrat vorzugsweise aus Silizium. Aus diesem Ankersubstrat ist ein blattförmiger Anker 21 so herausgearbeitet, daß er lediglich entlang einer Schwenkachse 20 über zwei mäanderförmige Federbänder  
25 der 25 und 26 aufgehängt ist. Diese Federbänder 25 und 26 ermöglichen nicht nur eine Torsion um die Schwenkachse 20, sondern auch eine Durchbiegung nach unten, so daß sich der Anker 21 im Bereich der Schwenkachse an das Basissubstrat 1 annähern kann.

30

Der Anker 21 bildet zwei Ankerflügel 21a und 21b beiderseits der Schwenkachse 20. Dabei sind die Ankerflügel 21a und 21b jeweils von dem Basissubstrat 1 weg nach oben gekrümmt, so daß jeder der beiden Ankerflügel jeweils mit dem Basis-  
35 substrat im Ruhezustand einen keilförmigen Luftspalt bildet, der sich vom Bereich der Schwenkachse ausgehend zu den freien Enden hin stetig erweitert. Diese Krümmung kann durch eine

gezielte Dotierung und damit erzeugte Zugspannung in einzelnen Schichten des Ankersubstrats hervorgerufen werden, wie dies beispielsweise grundsätzlich in der DE 42 05 029 C1 erwähnt ist. Die Krümmung wird, wie in Figur 2 angedeutet, im Bereich der Schwenkachse 20 auf einem kleinen Radius R1 eingestellt, der im Idealfall annähernd ein Knick sein könnte, was aber von der Fertigungstechnik her nicht ganz möglich ist, während zu den freien Enden des Ankers hin die Krümmung abnimmt, was in Figur 2 mit einem großen Radius R2 schematisch angedeutet ist; in Wirklichkeit handelt es sich natürlich nicht um eine Kreiskurve, sondern um eine flacher werdende Kurve, die zum Ende des Ankers hin in eine Gerade auslaufen könnte. Die Größenverhältnisse sind im übrigen übertrieben dargestellt. In einer typischen Ausführung hat der Anker eine Länge in der Größenordnung von 2 mm und eine Breite in der Größenordnung von 1 mm. Die Dicke des Ankers beträgt dann z.B. 5-10  $\mu\text{m}$ , während der Kontaktabstand in Ruhe etwa  $a_1=10 \mu\text{m}$  betragen kann.

Der Anker 21 trägt im Bereich seiner Unterseite eine Anker-elektrode 22. Diese erstreckt sich in dem Beispiel über die gesamte Unterseite des Ankers. Für bestimmte Anwendungsfälle, zum Beispiel zur Ansteuerung beider Ankerflügel von getrennten Stromkreisen, könnten auch an der Unterseite der Ankerflügel voneinander isolierte Elektrodenabschnitte 22a bzw. 22b vorgesehen werden. An den unterseitigen Enden der Ankerflügel 21a und 21b sind außerdem bewegliche Kontakte 23 und 24 angeordnet, die mit den Festkontakten 13 bzw. 14 des Basissubstrats zusammenarbeiten. Die beweglichen Kontakte 23 und 24 befinden sich an der Unterseite von Kontaktbereichen 27, welche durch Einschnitte 28 teilweise von dem eigentlichen Ankerflügel abgetrennt sind, so daß sie nur über schmale Stege 29 an diese angebunden sind. Dies bewirkt, daß sie mit größerer Elastizität als der eigentliche Anker beim Schließen des jeweiligen Kontaktes aus der Ankerebene heraus bewegbar sind und so die gewünschte Kontaktkraft aufbauen, während die davon getrennte Ankerelektrode in den davon abgetrennten Um-

gebungsbereichen flach auf der Basiselektrode aufliegt, wie dies in Figur 5 gezeigt ist.

Aus dieser Figur 5, die den Schließzustand des Ankerflügels 21b zeigt, ist auch zu ersehen, daß aufgrund der Schwenkbewegung des Ankers der linke Ankerflügel 21a sich zusätzlich weiter von der Basiselektrode abhebt, so daß der Kontaktabstand  $a_2$  zwischen den Kontakten 13 und 23 größer ist als der Kontaktabstand  $a_1$  im Ruhezustand des Relais gemäß Figur 2.

10 Daraus ergibt sich auch eine zusätzliche Sicherheit gegen Fehlschaltung. Das bedeutet, daß nach dem Anziehen eines Ankerflügels, in diesem Fall des Ankerflügels 21b, eine Ansteuerung des zweiten Ankerflügels 21a mit der gleichen Ansprechspannung diesen Ankerflügel mit seinen Kontakten 13 und

15 23 nicht gleichzeitig schließen kann. Hierzu wäre in einem typischen Fall etwa die dreifache Ansprechspannung erforderlich.

Die Funktion eines derartigen Relais wurde anhand eines Beispiels durchgerechnet, bei dem die Kontaktabstände  $k_1$  bzw.  $k_2$  der beiden Ankerflügel im Ruhezustand  $42\text{ }\mu\text{m}$  betrugen. Simuliert wurde dabei eine über Torsionsfedern gelagerte Siliziumwippe mit einer Dicke von  $10\text{ }\mu\text{m}$ , einer Länge von  $2 \times 1300\text{ }\mu\text{m}$  und einer Breite von  $1000\text{ }\mu\text{m}$ , welche im mittleren Bereich

25 viermal so stark durch innere Spannungen gekrümmt ist wie im restlichen Bereich der beiden Flügel. An den Enden haben die beiden Flügel also einen Abstand von  $42\text{ }\mu\text{m}$  von der Basis. Entsprechend diesem relativ hohen Kontaktabstand waren auch verhältnismäßig hohe Ansprechspannungen erforderlich.

30 Dabei ergaben sich die folgenden Ergebnisse, die in den Figuren 7a bis 7d in einer schematischen Darstellung der einzelnen Phasen des Schaltablaufs und in Figur 8 als zugehöriges Zeitdiagramm dargestellt sind. In den Figuren 7a bis 7d ist

35 jeweils schematisch der Anker 21 mit den Ankerflügeln 21a und 21b über den beiden Basiselektroden 11 und 12 dargestellt.  $U_{11}$  bedeutet jeweils die Spannung zwischen dem Ankerflügel

21a und der Basiselektrode 11, U12 die Spannung zwischen dem Ankerflügel 21b und der Basiselektrode 12;  $k_1$  ist der Kontaktabstand des Ankerflügels 21a,  $k_2$  der Kontaktabstand des Ankerflügels 21b von der jeweiligen Basiselektrode. In Figur 8 ist über der Zeit der Verlauf der Spannungen U11 und U12 sowie der Kontaktabstände  $k_1$  und  $k_2$  gezeigt.

Als erste Phase zeigt Figur 7a den Ruhezustand mit  $U_{11}=U_{12}=0$ . Wie erwähnt, beträgt in diesem Fall der Ruhe-Kontaktabstand beider Ankerflügel  $k_1=k_2=42\text{ }\mu\text{m}$ . Vom Zeitpunkt T1 (Figur 8) wird die Spannung U11 eingeschaltet; dabei neigt sich die Wippe leicht zur Basiselektrode 11, so daß der Kontaktabstand  $k_1$  auf etwa  $36\text{ }\mu\text{m}$  sinkt und der Kontaktabstand  $k_2$  auf etwa  $46\text{ }\mu\text{m}$  steigt (Figur 8). Ansonsten bleibt der Ruhezustand erhalten, bis U11 den Ansprechwert  $U_{11an}=64\text{ V}$  erreicht. Bei diesem Zeitpunkt T2 schließt der Ankerflügel 21a, d.h. der Kontaktabstand  $k_1$  wird zu 0. Gleichzeitig wird über die Wippe der andere Ankerflügel 21b weiter angehoben, so daß sein Kontaktabstand  $k_2$  auf  $65\text{ }\mu\text{m}$  ansteigt (siehe Figur 7b).

Eine weitere Erhöhung von U11 bis auf  $100\text{ V}$  ändert nichts an dem Schaltzustand. Auch das Einschalten von U12 zwischen dem Ankerflügel 21b und der Basiselektrode 12 bei gleichzeitiger Beibehaltung von  $U_{11}=100\text{ V}$  ändert zunächst nichts an dem Schaltzustand. Erst bei  $U_{12}=190\text{ V}$  schließt auch der Kontakt am Ankerflügel 21b, wie in Figur 7c gezeigt ist. Dieses gleichzeitige Einschalten von U11 und U12 entspricht einer nicht erwünschten Fehlbedienung des Relais. Da aber der Wert  $U_{12an}=190\text{ V}$  etwa der Bedingung  $U_{12an}=3 \times U_{11an}$  entspricht, hat ein Wechslerrelais mit dem erfindungsgemäßen Aufbau eine genügend hohe Sicherheit gegen Fehlschaltungen.

Wird vom Zeitpunkt T4 an die Spannung U11 abgesenkt, so bleibt der Schaltzustand gemäß Figur 7c zunächst erhalten, bis U11 den Abfall-Spannungswert von  $U_{11ab}=17\text{ V}$  erreicht hat (Zeitpunkt T5 in Figur 8). Zu diesem Zeitpunkt fällt der

Ankerflügel 21a ab,  $k_1$  steigt auf den Wert von  $65\text{ }\mu\text{m}$  gemäß Figur 7d. Der Kontakt am Ankerflügel 21b bleibt geschlossen.

5 Dieses Rechenbeispiel dient dem Nachweis des Funktionsprinzips. Die Ergebnisse gelten entsprechend auch für kleinere Kontaktabstände in der Größenordnung von  $10\text{ }\mu\text{m}$ , wobei dann auch kleinere Ansprechspannungen im Bereich von 10 bis 20 V genügen.

10 Die Stromzuführung für die beweglichen Kontakte 23 und 24 (in Figur 5), die zweckmäßigerweise als Mittelkontakt miteinander verbunden sind, erfolgt über eine nicht dargestellte Leiterbahn über die Unterseite des Federbandes 25 und die Leiterbahn 15 auf dem Basissubstrat, während die Ansteuerung der  
15 Ankerelektrode 22 über eine ebenfalls nicht dargestellte Leiterbahn auf der Unterseite des Federbandes 26 zu der Leiterbahn 16 des Basissubstrates erfolgt. Sind mehrere Zuleitungen, etwa zu mehreren Kontakten, erforderlich, müssten über die Federbänder Leiterbahnen in verschiedenen Schichten geführt werden.  
20

Um eine Laststromzuleitung über die Federbänder überhaupt zu vermeiden, ist es auch möglich, die beweglichen Kontakte als Brückenkontakte auszuführen. Eine derartige Ausgestaltung ist  
25 in Figur 4 schematisch gezeigt. Dort sind auf dem linken Ankerflügel 21a zwei bewegliche Kontakte 33a und 33b über eine Brücke 33 verbunden, ebenso zwei bewegliche Kontakte 34a und 34b auf dem Ankerflügel 21b über eine Brücke 34. Beim Schalten kann so jeweils eine Kontaktbrücke 33 oder 34 zwei  
30 nicht dargestellte feststehende Kontakte auf dem Basis-substrat miteinander verbinden.

In Figur 6 ist eine Weiterbildung schematisch angedeutet, bei der über den Ankerelektroden 11 und 12 jeweils Elektrode 41  
35 und 42 vorgesehen sind, die mit ihren Ladungen eine Vorspannung und damit eine bestimmte monostabile oder bistabile Schaltcharakteristik des Relais erzielen können. In dem ge-

10

zeigten Beispiel sind die Elektretschichten auf dem Basis-  
substrat über den feststehenden Elektroden angeordnet. Grund-  
sätzlich wäre es natürlich auch möglich, entsprechende Elek-  
tretschichten wahlweise oder zusätzlich auf dem Anker anzu-  
bringen.

Je nach Art und Höhe der Ladungen in den Elektretschichten 41  
und 42 lassen sich unterschiedliche Betriebsarten des Relais  
erzielen, wie sie in den folgenden Tabellen zusammengestellt  
sind.

Neutrales Relais (ohne Elektret-Ladungen):

Elektrode 11 U11	Elektret 41 U41	Elektrode 12 U12	Elektret 42 U42	Kontakt 13/23	Kontakt 14/24
0	0	0	0	offen	offen
Uan0	0	0	0	geschlossen	offen
0	0	Uan0	0	offen	geschlossen

15

Monostabiles Relais:

Elektrode 11 U11	Elektret 41 U41	Elektrode 12 U12	Elektret 42 U42	Kontakt 13/23	Kontakt 14/24
0	U1	0	0	geschlossen (Ruhezustand)	offen
0	U1	Uan1	0	offen	geschlossen

Bistabiles Relais:

20

Elektrode 11 U11	Elektret 41 U41	Elektrode 12 U12	Elektret 42 U42	Kontakt 13/23	Kontakt 14/24
0	U0	0	U0	geschlossen oder offen	offen oder geschlossen
0	U0	Uan2	U0	offen	geschlossen
Uan2	U0	0	U0	geschlossen	offen

In den Tabellen bedeuten jeweils U11 die Gesamtspannung zwischen der Basiselektrode 11 und der Ankerelektrode 22, und U12 die Gesamt-Steuerspannung zwischen der Basiselektrode 12 und der Ankerelektrode 22. Darin eingeschlossen ist jeweils die Elektretspannung U41 des Elektreten 41 bzw. U42 des Elektreten 42. Die von außen anzulegende Steuerspannung ist deshalb geringer als U11 bzw. U12, nämlich U11-U41 bzw. U12-U42.

Ansonsten bedeutet:

10

Uan:       Ansprechspannung allgemein  
Uan0:       Ansprechspannung des neutralen Relais  
Urück:      die Rückfallspannung allgemein, also diejenige Spannung, bei der der Anker nicht mehr gehalten wird und in die Ruhestellung zurückkehrt,  
15            Urück0:   die Rückfallspannung beim neutralen Relais.

Die äquivalenten Elektretspannungen U1 beim monostabilen Relais und U0 beim bistabilen Relais entsprechen etwa folgenden Werten:

20

U1 > Uan0  
Uan1 > U1 und  
Urück0 < U0 < Uan0.

25 Wie eingangs bereits erwähnt, können die Substrate mit bekannten Beschichtungs- und Ätzmethode bearbeitet werden. Insbesondere kann der Anker 21 aus dem Ankersubstrat 2 mit bekannten Methoden gewonnen werden. Vorzugsweise wird der Anker durch eine dotierte Siliziumschicht in dem Ankersubstrat 2 gebildet, die dann durch rückseitiges anisotropes Ätzen des Siliziumwafers mit elektrochemischem Ätzstop freigelegt wird. Daneben sind aber auch andere Methoden anwendbar.  
30 Die in Figur 1 gezeigte Gestaltung des Kontaktbereiches 27 mit dem beweglichen Kontaktstück 23 bzw. 24 kann ebenfalls abgewandelt werden. Insbesondere sind dabei Gestaltungen eines Kontaktbereiches mit spiralfederartigen oder sonnenradar-

35

tigen Aufhängungen möglich, wie dies in der DE 44 37 259 C1 beschrieben ist.

## Patentansprüche

1. Mikromechanisches elektrostatisches Relais mit
  - einem flachen Basissubstrat (1), in dessen Oberflächenbe-  
5 reich zwei flächige Basiselektroden (11,12) in Längsrich-  
tung zueinander versetzt angeordnet sind,
  - einem Ankersubstrat (2) mit einem wippenförmigen Anker  
(21), der im Bereich einer mittigen Schwenkachse (20) an  
zwei gegenüberliegenden Seiten über flexible Bänder (25,26)  
10 in dem Ankersubstrat (2) aufgehängt ist und beiderseits der  
Schwenkachse jeweils einen blattförmigen Ankerflügel  
(21a,21b) bildet, wobei jeder Ankerflügel einen Anker-  
Elektrodenabschnitt (22a,22b) trägt, der seinerseits je ei-  
ner der beiden Basiselektroden (11,12) gegenübersteht,
  - 15 - wobei ferner jeder Ankerflügel (21a,21b) mindestens einen  
beweglichen Kontakt (23,24;33a,33b,34a,34b) trägt, der je-  
weils mit mindestens einem auf dem Basissubstrat (1) ange-  
ordneten Festkontakt (13,14) zusammenwirkt,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die beiden  
20 Ankerflügel (21a,21b) in sich biegsam ausgebildet und jeweils  
im Ruhezustand von dem Basissubstrat (1) weg gekrümmt sind,  
wobei sie jeweils einen keilförmigen Luftspalt mit diesem  
bilden, dessen engste Stelle in der Nähe der Schwenkachse  
(20) liegt und der sich zum freien Ende des Ankerflügels  
25 (21a,21b) hin stetig erweitert.
2. Relais nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die flexi-  
blen Bänder (25,26) zur Ankeraufhängung sowohl eine Torsion  
30 als auch eine Durchbiegung senkrecht zur Oberfläche des Ba-  
sissubstrats (1) ermöglichen.
3. Relais nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die flexi-  
35 blen Bänder (25,26) zur Aufhängung des Ankers (21) mäander-  
förmig gestaltet sind.

4. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, daß der Anker  
(21) im Bereich der Schwenkachse (20) einen kleinen Krüm-  
mungsradius (R1) und in den zu den freien Enden der Ankerflü-  
5 gel (21a,21b) sich erstreckenden Bereich einen großen Krüm-  
mungsradius (R2) aufweist.

5. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß beide  
10 Ankerflügel (21a, 21b) zusammenhängende Abschnitte (22a,22b)  
einer gemeinsamen Ankerelektrode (22) tragen, die einen als  
Leiterbahn über mindestens eines der flexiblen Bänder (26)  
geführten Steueranschluß (16) besitzt.

15 6. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß zwei auf  
je einem Ankerflügel (21a,21b) angeordnete bewegliche Kontak-  
te (23,24) einen gemeinsamen Laststromanschluß (15) besitzen,  
der in Form einer Leiterbahn über eines der flexiblen Bänder  
20 (25) geführt ist.

7. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, daß jeder  
Ankerflügel (21a,21b) eine bewegliche Brückenkontaktanordnung  
25 (33,34) ohne eigenen Anschluß aufweist, welche mit einem Paar  
feststehender Kontakte zusammenwirkt.

8. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
dadurch gekennzeichnet, daß jeder be-  
30 wegliche Kontakt (23,24) in einem Kontaktabschnitt (27) ange-  
ordnet ist, der über Verbindungsstege (29) geringen Quer-  
schnitts elastisch aus der Hauptebene des jeweiligen Anker-  
flügels (21a,21b) heraus bewegbar ist.

35 9. Relais nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß zumindest  
in einem der keilförmigen Arbeitsluftspalte eine Elektret-

schicht (41,42) auf der Basiselektrode (11,12) oder auf dem Ankerelektrodenabschnitt (22a,22b) angeordnet ist.

10. Relais nach Anspruch 9,

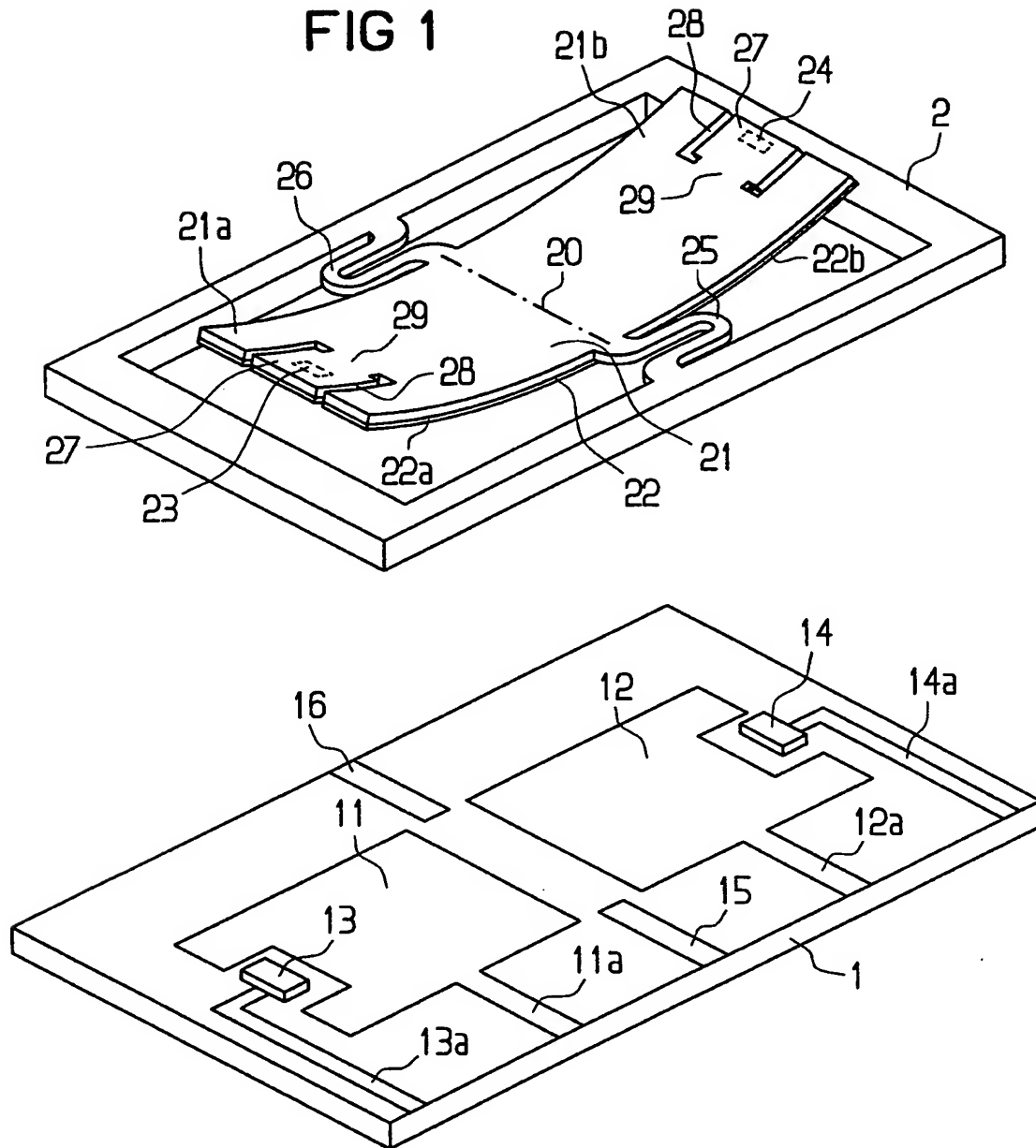
- 5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur Erzielung einer monostabilen Schaltcharakteristik im Bereich eines ersten Arbeitsluftspaltes (11,21a) eine Elektretschicht (41) angeordnet ist und daß zwischen den Elektroden (12,22) des zweiten Arbeitsluftspaltes (12,21b) eine Steuerspannung  
10 (Uan1) anlegbar ist, die wesentlich größer ist als die Elektretspannung (U1).

11. Relais nach Anspruch 9,

- 15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur Erzielung einer bistabilen Schaltcharakteristik im Bereich beider Arbeitsluftspalte (11,,21a;12,21b) jeweils eine Elektretschicht (41,42) angeordnet ist und daß zwischen den Elektroden beider Arbeitsluftspalte wahlweise eine Steuerspannung (Uan2) anlegbar ist, die wesentlich größer ist als die Elektretspannung (U0).  
20

1/5

FIG 1





3/5

FIG 4

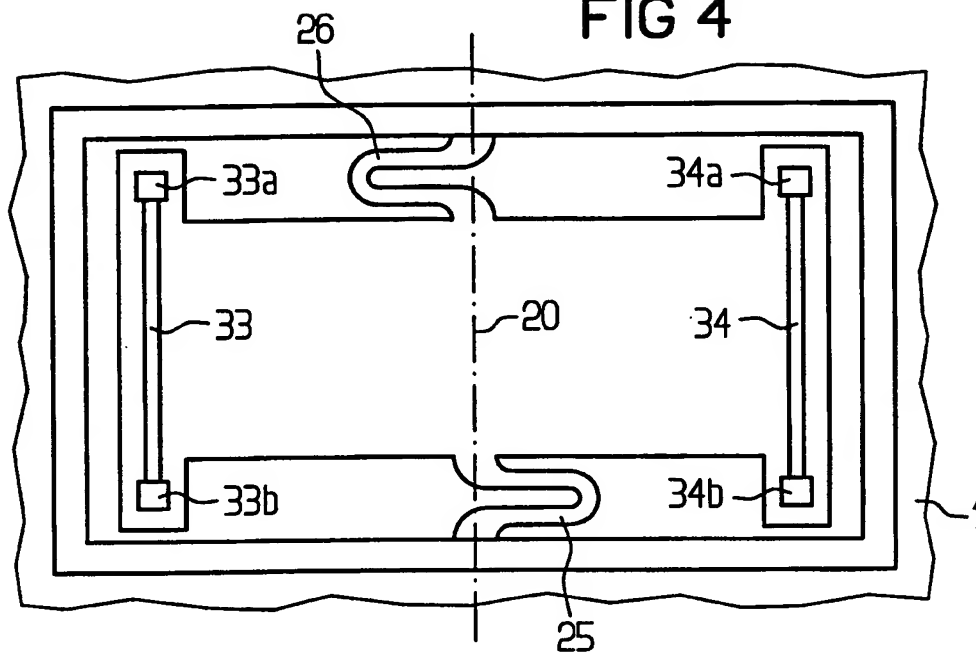


FIG 5

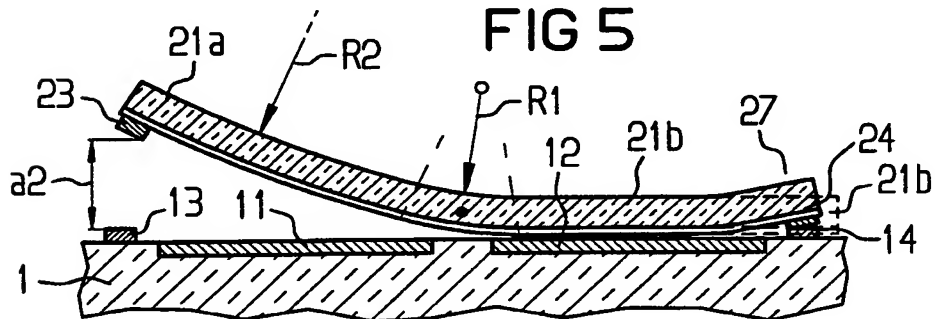
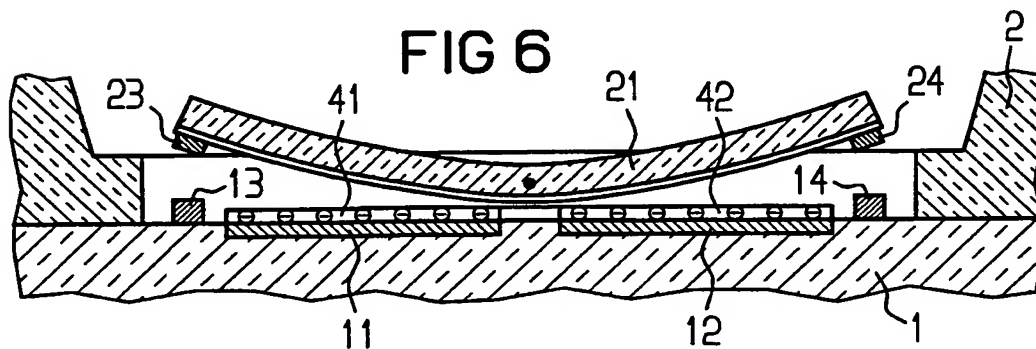


FIG 6



4/5

FIG 7 a

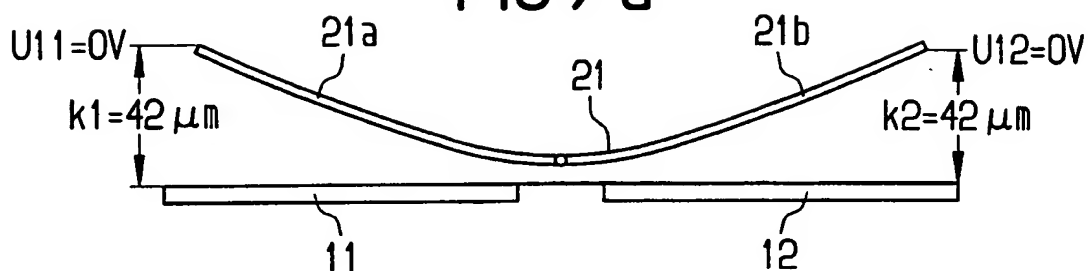


FIG 7 b

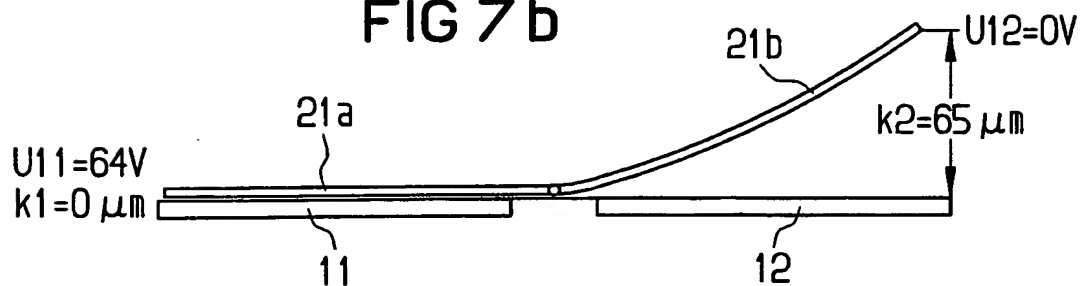


FIG 7 c

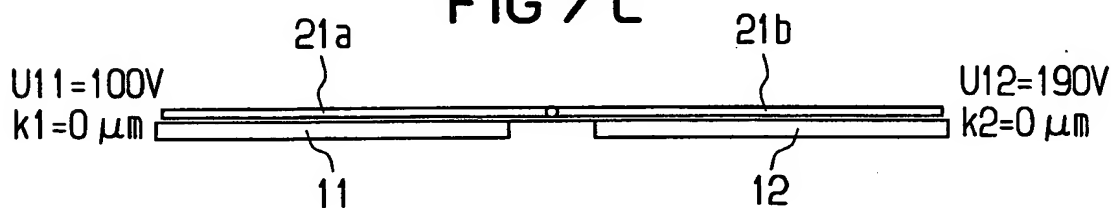
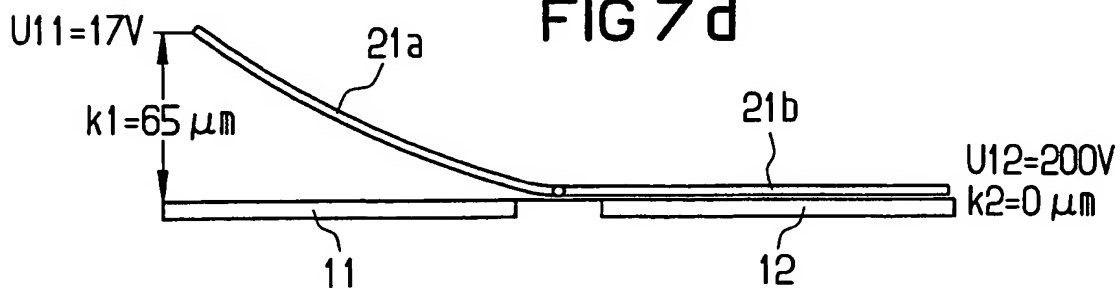
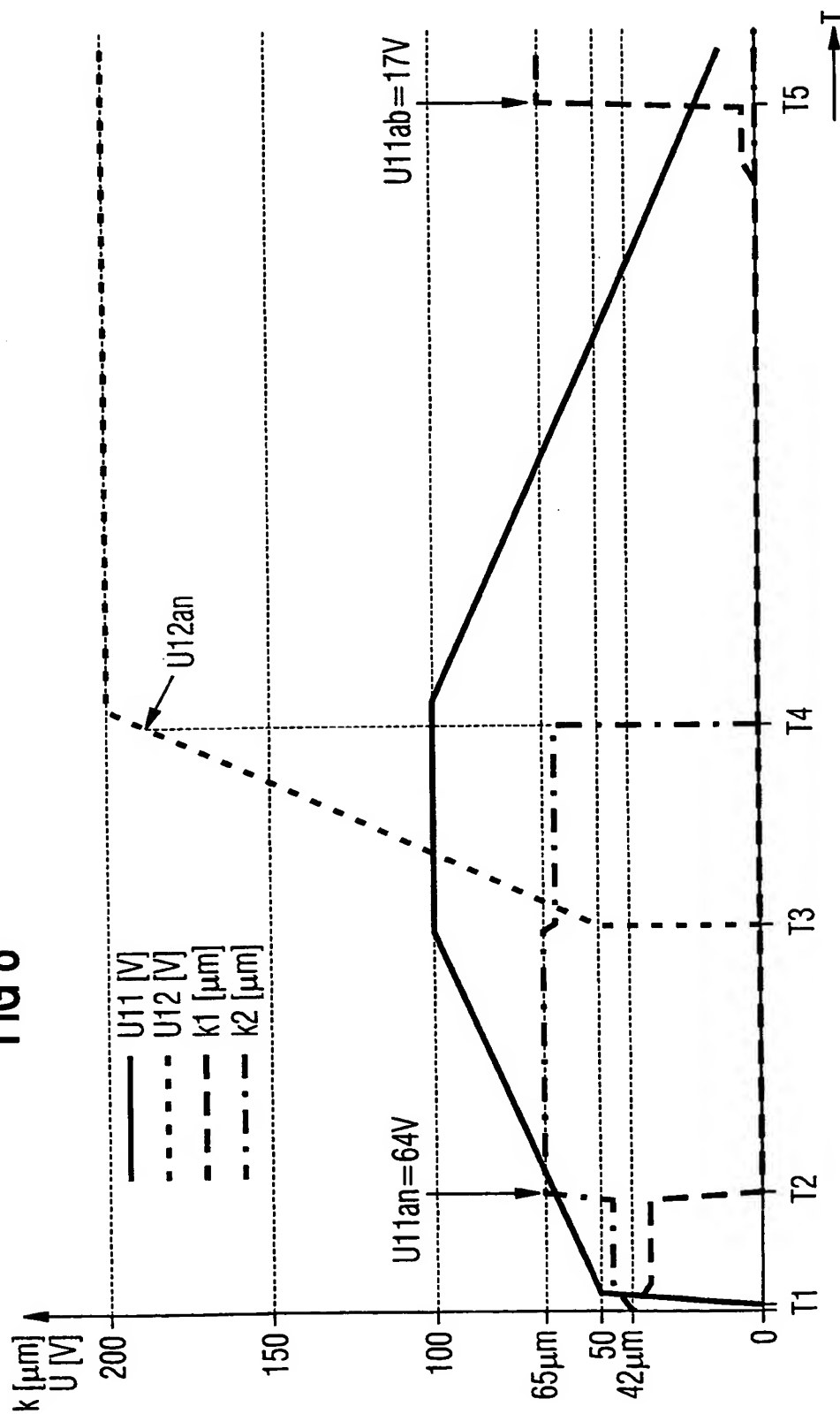


FIG 7 d



5/5

FIG 8



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PC1/DE 99/01548

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 6 H01H59/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SAKATA M: "AN ELECTROSTATIC MICROACTUATOR FOR ELECTRO-MECHANICAL RELAY" PROCEEDINGS IEEE MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, 1 January 1989 (1989-01-01), pages 149-151, XP002070337 ---	1-11
A	DE 44 37 261 C (SIEMENS AG) 19 October 1995 (1995-10-19) cited in the application column 2, line 4 - line 26; figure 1 --- -/---	1-11
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.</span> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>* Special categories of cited documents :</b></p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">21 September 1999</div>		Date of mailing of the international search report  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">28/09/1999</div>
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Ramírez Fueyo, M</div>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter onal Application No

PC1/DE 99/01548

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SCHUELLER O J A ET AL: "FABRICATION OF GLASSY CARBON MICROSTRUCTURES BY PYROLYSIS OF MICROFABIRICATED POLYMERIC PRECURSORS" ADVANCED MATERIALS, vol. 9, no. 6, 1 May 1997 (1997-05-01), pages 477-480, XP002065239 ISSN: 0935-9648 figures 3,4D	2,3
A	EP 0 520 407 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD ;LEWINER JACQUES (FR); PERINO DIDER) 30 December 1992 (1992-12-30) cited in the application the whole document	9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/01548

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4437261 C	19-10-1995	DE 59501491 D	02-04-1998
		EP 0713235 A	22-05-1996
		JP 8255546 A	01-10-1996
		US 5629565 A	13-05-1997
EP 0520407 A	30-12-1992	JP 5002974 A	08-01-1993
		JP 2761123 B	04-06-1998
		JP 5002975 A	08-01-1993
		JP 5002977 A	08-01-1993
		JP 5002978 A	08-01-1993
		CA 2072199 A,C	25-12-1992
		DE 69212726 D	19-09-1996
		DE 69212726 T	12-12-1996
		US 5278368 A	11-01-1994

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PC1/DE 99/01548

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 H01H59/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 H01H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SAKATA M: "AN ELECTROSTATIC MICROACTUATOR FOR ELECTRO-MECHANICAL RELAY" PROCEEDINGS IEEE MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, 1. Januar 1989 (1989-01-01), Seiten 149-151, XP002070337	1-11
A	DE 44 37 261 C (SIEMENS AG) 19. Oktober 1995 (1995-10-19) in der Anmeldung erwähnt Spalte 2, Zeile 4 - Zeile 26; Abbildung 1 -/-	1-11

☒ Weitere Veröffentlichungen sind die Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"g" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. September 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/09/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ramírez Fueyo, M

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCI/DE 99/01548

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>SCHUELLER O J A ET AL: "FABRICATION OF GLASSY CARBON MICROSTRUCTURES BY PYROLYSIS OF MICROFABRICATED POLYMERIC PRECURSORS" ADVANCED MATERIALS, Bd. 9, Nr. 6, 1. Mai 1997 (1997-05-01), Seiten 477-480, XP002065239 ISSN: 0935-9648 Abbildungen 3,4D</p>	2,3
A	<p>EP 0 520 407 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD ;LEWINER JACQUES (FR); PERINO DIDER) 30. Dezember 1992 (1992-12-30) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	9

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/01548

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4437261 C	19-10-1995	DE 59501491 D	02-04-1998
		EP 0713235 A	22-05-1996
		JP 8255546 A	01-10-1996
		US 5629565 A	13-05-1997
EP 0520407 A	30-12-1992	JP 5002974 A	08-01-1993
		JP 2761123 B	04-06-1998
		JP 5002975 A	08-01-1993
		JP 5002977 A	08-01-1993
		JP 5002978 A	08-01-1993
		CA 2072199 A,C	25-12-1992
		DE 69212726 D	19-09-1996
		DE 69212726 T	12-12-1996
		US 5278368 A	11-01-1994